

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 25 NOV 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

103 56 434.9

Anmeldetag:

03. Dezember 2003

Anmelder/Inhaber:

Bauhausuniversität Weimar, 99423 Weimar/DE

Bezeichnung:

Verfahren und Anordnung zur Kombination von Ho-
logrammen mit Computergrafik

Priorität:


27. Oktober 2003 DE 103 50 223.8

IPC:

G 03 H, G 06 T

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 3. November 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Schäfer

5

10

15

Verfahren und Anordnung zur Kombination von Hologrammen mit Computergrafik

20

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kombination eines optischen Hologrammes, das einen virtuellen Inhalt enthält, mit Computergrafik unter Verwendung eines teildurchlässigen, optischen Elementes, eines Hologramms, eines Monitors auf der von einem Betrachter abgewandten Seite des teildurchlässigen Elementes und eines Videoprojektors, wobei das holographische Bild des Hologrammes mit dem Bild des Monitors überlagert erscheint.

25

Die Erfindung wird vorzugsweise zur Darstellung von computergenerierten Informationen in Hologrammen eingesetzt, dabei insbesondere auch zur Hervorhebung von Hologrammdetails.

30

Ein Hologramm ist eine fotometrische Emulsion, die Interferenzmuster von kohärentem Licht trägt. Die Aufnahme speichert im Gegensatz zu einer Fotografie nicht nur die Amplitude und die Wellenlänge, sondern auch noch die Phaseninformation, also Ursprung beziehungsweise Richtung, auftreffender Lichtstrahlen und ist dadurch in der Lage, eine vollständige, optische Wellenfront zu rekonstruieren, die ein dreidimensionales Bild des aufgenommenen Inhaltes sichtbar macht.

Optische Hologramme sind statisch, eine Interaktion mit dem Betrachter ist nicht möglich. In Multiplex-Hologrammen, die aus mehreren engen, vertikalen Streifenhologrammen zusammengesetzt sind, die Aufnahmen derselben Szene aus verschiedenen Zeiten oder Positionen enthalten, kann der Betrachter die aufgenommene Szene in Bewegung sehen, wenn er sich relativ zum Hologramm bewegt.

Dreidimensionale Computergrafiken in Verbindung mit stereoskopischen Darstellungstechniken stellen eine Alternative dar, die Interaktion ermöglicht. Moderne Rendering-Verfahren auf moderner Grafikhardware können interaktive, wirklichkeitsnahe Bilder erzeugen, erreichen jedoch nicht annähernd die Qualität und die Wirklichkeitstreue von holographischen Bildern.

Autostereoskopische Darstellungstechniken ermöglichen es, eine mit Computern erzeugte Grafik ohne spezielle Brille zu betrachten. Es gibt verschiedene autostereoskopische Techniken, um Objekte gleichzeitig aus mehreren Perspektiven dazustellen und die somit mehrere Betrachter unterstützen. Die Auflösung und die Renderinggeschwindigkeit werden jedoch durch die Anzahl der erzeugten Ansichten herabgesetzt. Im Gegensatz dazu können holographische Bilder sämtliche Bildtiefen, die Perspektive, die binokulare Erscheinung, die Bewegungsparallaxe, die Konvergenz und die

Anpassung wiedergeben und eine theoretisch unbegrenzte Anzahl von Betrachtern erreichen.

5 Es gibt Bestrebungen, computergenerierte Hologramme zu nutzen. Diese teilen
sich derzeit in zwei Kategorien: Zum einen die digitale Holographie, bei der
holographische/optische Drucker eingesetzt werden, um in der Emulsion ein
normales Hologramm aus einer im Computer errechneten Szene zu erstellen.
10 Das Multiplex-Verfahren ist dabei möglich, eine Interaktion jedoch nicht. Zum
anderen hat die Entwicklung der Elektroholographie das Ziel, Hologramme mit
Computern zu erzeugen und die holographischen Bilder in Echtzeit
darzustellen. Nach verschiedenen Verfahren zur Berechnung der
Interferenzmuster oder von Stereogrammen werden sie dynamisch mit einem
holographischen Anzeigegerät visualisiert, das z. B. aus einem Flüssigkristall
15 oder akustisch-optischen Raumlichtmodulatoren besteht. Durch die enormen
Datenmengen, die verarbeitet, übertragen und gespeichert werden müssen, sind
diesem Verfahren durch die derzeitige Computertechnik Grenzen derart
gesetzt, dass trotz leistungsfähiger Reduktions- und Kompressionsverfahren
nur kleine interaktive Elektrohologramme erzeugt werden können, die zudem
von beschränkter Auflösung und Farbtiefe sind.

20 Optische Hologramme können große Informationsmengen in einer dünnen,
holographischen Emulsion nahezu ohne Qualitätsverlust speichern und
wiedergeben. Auflösungen von weniger als $3 \mu\text{m}$ sind möglich. Bis diese
Qualität durch Steigerung der Rechnerkapazität mit anderen Verfahren erreicht
25 wird, wäre eine Kombination aus interaktiven Computergrafiken und optischen
Hologrammen hoher Qualität eine wünschenswerte Alternative.

30 Die US 510 92 89 beschreibt ein Verfahren zum Hervorheben eines
ausgewählten Bereiches eines holographischen Bildes durch Aufhellen

und/oder Vergrößern des Bereiches mittels einer beweglichen Linse im Beleuchtungsstrahlengang.

5 Nachteilig ist dabei, dass die Hervorhebung nur durch Aufhellung oder Vergrößerung geschehen kann, innerhalb des Hologramms keine zusätzlichen Informationen darstellbar sind und mit einer Linse jeweils nur ein Bereich hervorgehoben werden kann.

10 Aus der WO 96/35975 ist eine Anordnung zur Anzeige eines Bildes eines Objektes bekannt, die ein optisches System zur Erzeugung des Bildes, einen teildurchlässigen Spiegel und eine Darstellungsanordnung im Hintergrund enthält, wobei ein Betrachter durch den Spiegel das Bild und die Hintergrunddarstellung überlagert sieht, wobei das optische System einen
15 holographischen Film enthalten kann, sodass das holographische Bild vor dem Spiegel erscheint, und die Hintergrunddarstellung ein Computermonitor mit beweglichen Bildern sein kann.

20 Diese Anordnung hat mehrere Nachteile. Für den Computermonitor sind nur bewegliche, nicht statische Bilder vorgesehen, die nur zweidimensional flach erscheinen können und das holographische Bild unbedingt durchdringen. Die Erscheinungsweise des holographischen Bildes ist unveränderlich, insbesondere können keine Teile hervorgehoben oder verändert werden. Es ist keine kontrollierte Beleuchtung möglich. Weiterhin wird die Perspektive des
25 Betrachters nicht beachtet, was zu perspektivischen Fehldarstellungen führt. Außerdem benötigt die Anordnung eine plätzraubende, mechanische Konstruktion, da ein gewisser Winkel zwischen Monitor und Spiegel eingehalten werden muss (z. B. 45°).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben, mit denen optische Hologramme und interaktive Computergrafik harmonisch und einheitlich kombiniert werden können, sodass alle Bestandteile optisch scharf und getrennt erkennbar sind und die Hologramme verändert, insbesondere auch teilweise hervorgehoben, dargestellt werden können.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einem Verfahren, welches die in Anspruch 1 angegebenen Merkmale enthält und mit einer Anordnung, welche die in Anspruch 13 angegebenen Merkmale enthält, gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben.

Die Kombination von optischen Hologrammen mit grafischen 2D- und/oder 3D-Elementen stellt einen akzeptablen Kompromiss zwischen Qualität und Interaktivität dar. Während der holographische Bildgehalt eine hohe Qualität gewährleistet, aber statisch bleibt, können die zusätzlichen grafischen Informationen mit interaktiven Geschwindigkeiten generiert, eingefügt, modifiziert und animiert werden und dabei in ihrem Maßstab auch eine hohe Qualität aufweisen. Zur Überlagerung beider Teile werden optische Verknüpfungsbauteile wie Strahlteiler oder halbdurchlässige Spiegel hinter der Hologrammemulsion eingesetzt. Dadurch ist bei Transmissionshologrammen ein sehr kompakter Aufbau möglich.

Bei lichtundurchlässigen Reflexionshologrammen sind zusätzliche, optische Kombinationselemente erforderlich, um die Bilder zu überlagern, prinzipiell ist

die Vorgehensweise jedoch gleich. Dadurch ist auch sowohl die Verwendung beispielsweise von digitalen, aber auch von Elektro-Hologrammen möglich.

5 Neue Reflexionshologramme, die ohne Abdunklungsschicht hergestellt werden können, ermöglichen den Verzicht auf ein teildurchlässiges, optisches Element, da sie selbst als solches fungieren, indem Licht sowohl durchgelassen als auch reflektiert wird. Sie ermöglichen auch die Darstellung einer vertikalen Parallaxe im Gegensatz zu herkömmlichen Transmissionshologrammen, die nur eine horizontale Parallaxe abbilden.

10 Es können somit alle Weißlichthologramme zum Einsatz kommen, Transmissions- und Reflexionshologramme und darunter jeweils Monochrom- und Farbhologramme. Auch die Echtfarbdarstellung ist möglich, insbesondere mit mehreren Hologrammschichten hintereinander.

15 Übliche Videoprojektoren sind Lichtquellen, die mit ihren Hochleistungs-Entladungslampen (HDI-Lampen) intensives und gleichzeitig spektral sehr gleichmäßiges Licht erzeugen können, was für die Beleuchtung von Hologrammen äußerst vorteilhafte Voraussetzungen sind. Da sie Punktlichtquellen darstellen, die Licht selektiv in verschiedene Richtungen aussenden können und dabei alle Projektionssegmente oder -richtungen einzeln ansteuerbar, also beleuchtbar, sind, sind sie für eine eventuell variable Ausleuchtung von großem Vorteil.

20 Durch die dynamisch mögliche, nur teilweise Rekonstruktion der Wellenfront und/oder Änderung der Amplituden der Elemente des holographischen Bildes aus dem Hologramm mittels selektiver Beleuchtung des Hologramms kann vorteilhafterweise das holographische Bild manipuliert werden.

25 Durch die Anzeige der Computergrafik in Bereichen der Emulsion, die nicht beleuchtet sind, also nicht rekonstruiert werden, wird die Überlagerung von

Computergrafik und holographischem Bild sauber unterteilt, sodass das Licht beider Teile sich nicht gegenseitig durchdringt beziehungsweise überlagert. Beide Teile sind dadurch klar erkennbar.

5

Durch die Verwendung mehrerer Puffer zur Berechnung der Computergrafik und des Beleuchtungsbildes kann eine möglichst schnelle Durchführung der Berechnungen erreicht werden. Eingesetzt werden dabei ein Z-Puffer (Tiefenpuffer), ein Stencilpuffer (Schablonenpuffer) und ein Bildpuffer (Farbpuffer, Framebuffer), wobei die Puffer auch für die Bestimmung boolescher Ausdrücke eingesetzt werden. Vorteilhafterweise werden die Berechnungen von einer 3D-Recheneinheit (GPU) durchgeführt.

10

15

Durch die Amplitudenmodifikation der Wellenfront können die Beleuchtungsverhältnisse innerhalb des holographischen Bildes verändert werden, insbesondere, um optische Hervorhebungen von Hologrammdetails zu zeigen, um unwichtige Teile abzuschwächen oder auszublenden oder um die Beleuchtung auf dem Hologramm der Beleuchtung auf der Computergrafik anzupassen.

20

Dazu werden vorteilhafterweise zunächst die alten Beleuchtungsverhältnisse aus einem bereits berechneten Beleuchtungsbild herausgerechnet und die neuen miteinbezogen.

25

Da alle eingesetzten Render-Techniken durch die Hardwarebeschleunigung herkömmlicher Grafikkarten unterstützt werden, werden interaktive Bildwiederholraten ohne Probleme erreicht.

30

Durch die autostereoskopische Darstellung der Computergrafik in Verbindung mit entsprechenden Anzeigeanordnungen, insbesondere einer Linsenrasterscheibe, erscheint der holographische und der computergenerierte Bildinhalt dreidimensional im gleichen Raum.

5 Durch den Einsatz einer Erkennungseinrichtung für die Kopf- und/oder Augenposition des Betrachters, insbesondere eines Headfinders, kann die benötigte Beobachterposition kontinuierlich an die tatsächlichen Verhältnisse angepasst werden.

10 Durch die Anordnung einer Schutzschicht vor dem Hologramm ist einerseits eine planare Form sichergestellt und andererseits die Gefahr von Schäden deutlich verringert.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

15 Dazu zeigen

Figur 1 eine Explosionszeichnung einer erfindungsgemäßen Anordnung mit Ausnahme des Projektors,

20 **Figur 2** eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Anordnung im Querschnitt,

Figur 3 ein Ablaufdiagramm eines Algorithmus für Beleuchtungsbild und Computergrafik,

25 **Figur 4** ein Ablaufdiagramm eines alternativen, vereinfachten Algorithmus,

Figur 5 eine schematische Darstellung zur Beleuchtungsveränderung,

Figur 6 und 7 schematische Darstellungen von Ergebnissen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Figur 1 zeigt ein Beispiel, wie ein Transmissionshologramm mit einer Linsenrasterscheibe 4 vor einem LCD-Display 5 effizient kombiniert werden kann, was eine Variante eines Parallaxenschirms darstellt, der die Brechung einer Linsenrastrung 4 ausnutzt, um das Licht 6 auf verschiedene Betrachterbereiche zu richten. Durch die Anordnung der holographischen Emulsion 2 vor einem Spiegelstrahlenteiler 3 kann sie durch einfallendes Licht 7 von vorn ausgeleuchtet werden und von hinten mit einer Grafik R bereichert werden, die Licht 6 abstrahlt. Eine dünne Glasplatte 1 schützt die Emulsion 2 vor Schäden.

Die Linsenrasterplatte 4 lenkt das Licht 6 von der LCD-Matrix 5 durch die ersten drei Lagen 1, 2 und 3 zu den Augen eines Betrachters V. Das von einem Videoprojektor P projizierte Licht 7 wird durch die ersten beiden Lagen 1 und 2 durchgelassen und durch den Strahlenteiler 3 teilweise zurückreflektiert, wobei das holographische Bild durch die in der Emulsion 2 entstehende Wellenfront rekonstruiert, die als austretendes Licht 8 in die Augen des Betrachters V fällt.

Wird statt eines Transmissionshologramms ein lichtdurchlässiges Reflexionshologramm, also ohne Abdunklungsschicht, eingesetzt, so ist der halbdurchlässige Spiegel nicht nötig, das Hologramm selbst wirkt dann als solcher.

Anstelle einer LCD-Monitors können beliebige, zur Darstellung von Computergrafik fähige Anzeigeeinstrumente eingesetzt werden. Flachbildschirme sind aufgrund ihrer platzsparenden Bauweise besonders gut geeignet.

Das erfindungsgemäße Verfahren funktioniert selbstverständlich auch mit aktiver oder passiver stereoskopischer anstatt autostereoskopischer Darstellung. Auch die monoskopische Darstellung ist möglich. Da zur Zeit noch keine großen autostereoskopischen Displays verfügbar sind, ist derzeit noch ein Ausweichen auf stereoskopische Projektionsdisplays nötig, um in der Größe weiter skalieren zu können, was jedoch problemlos ist.

In Figur 2 ist schematisch gezeigt, wie die selektive Beleuchtung der holographischen Platte 2 erfolgt, indem der Videoprojektor P darauf das Beleuchtungsbild I projiziert. Wenn die Emulsion 2 eng am Bildschirm 5 befestigt ist, können beide näherungsweise als identisch betrachtet werden. Der geometrische Bereich, in dem das Display 5 die gerenderte Computergrafik R anzeigt, ist dabei unbeleuchtet, der Betrachter V sieht an dieser Stelle im holographischen Bild die Grafik R ohne Überlagerung mit eventuell vorhandenem Hologramminhalt H. Die Inhalte H und G des Hologramms beziehungsweise der Computergrafik sind rein virtuell und werden erst durch die Rekonstruktion der Wellenfront aus der Emulsion 2 beziehungsweise durch die Anzeige der gerenderten Grafik R auf dem Display 5 sichtbar.

Ein Algorithmus zur Berechnung des Beleuchtungsbildes I und der Grafik R mit herkömmlicher Grafikhardware ist in Figur 3 dargestellt. Die Bildtiefeninformation in Form des Inhaltes H des Hologramms 2 und die Szenenbeschreibung des Inhalts G der Computergrafik werden als bekannt vorausgesetzt. Sinnvollerweise sind beide passend zueinander ausgerichtet. Dies wird zweckmäßigerweise außerhalb des Normalbetriebs erfolgen. Wenn bei der Aufnahme des Hologramms optische Markierer mitaufgezeichnet werden, können Kameras eingesetzt werden, um die Ausrichtung automatisch durchzuführen. Die inneren und äußeren Parameter des Projektors P bezüglich der holographischen Emulsion 2 müssen ebenfalls bekannt sein. Die vorausgesetzten Größen werden sinnvollerweise in einer Kalibrierung außerhalb des Normalbetriebs bestimmt.

Der Algorithmus berücksichtigt sowohl die dreidimensionalen Verhältnisse des Hologramminhaltes H als auch des Grafikinhaltes G mit der Folge, dass, auch wenn sich beide virtuell durchdringen, eine korrekte Darstellung des Gesamtbildes erfolgt, indem nur die Teile des Grafikinhaltes G sichtbar werden, die aus der Perspektive des Betrachters V vor dem Hologramminhalt H liegen, und andererseits an den korrespondierenden Stellen des Beleuchtungsbild I schwarze Flächen dargestellt werden, sodass die Emulsion 2 dort nicht beleuchtet wird. Generell wird das Hologramm 2 nur an Stellen ausgeleuchtet, an denen auch Inhalt H vorhanden ist, sodass keine unerwünschten Lichtreflexionen in Bereichen auftreten können, in denen gar kein Hologramminhalt H sichtbar ist.

Zunächst wird als Zwischenstufe ein Texturbild T von dem Betrachter V aus über die Emulsion 2 und außerhalb der optischen Achse durch Rendern des Hologramminhaltes H in der definierten Lichtfarbe und -intensität in Z- und Bildpuffer der Grafikkarte erzeugt. Anschließend wird der Grafikinhalt G unter Anwendung eines Z-Puffer-Tests in Z- und Schablonenpuffer gerendert. Die Schablonenbereiche werden im Bildpuffer mit Schwarz gelöscht. Das Beleuchtungsbild I wird von dem Projektor P aus auf der optischen Achse gerendert, nachdem alle Puffer geleert wurden und indem ein Bild der Emulsion 2 mit der Textur T überzogen in den Bildpuffer geschrieben wird. Das Beleuchtungsbild I wird durch den Videoprojektor P auf die holographische Emulsion 2 geworfen.

Das auf dem Schirm 5 anzuzeigende Grafikbild R wird von dem Betrachter V aus und abseits der optischen Achse gerendert, indem der Hologramminhalt H nach der Leerung aller Puffer in den Z-Puffer geschrieben wird und der Grafikinhalt G unter Anwendung eines Z-Puffer-Tests in Z-Puffer und Bildpuffer geschrieben wird.

Einen alternativen, vereinfachten Algorithmus zeigt Figur 4. Er arbeitet prinzipiell gleich wie der oben beschriebene Algorithmus, bestrahlt jedoch das Hologramm 2 mit Ausnahme der Bereiche von Grafik R mit vorgegebenen Farbwerten, insbesondere einheitlich mit weißem Licht maximaler Intensität.

Außer der teilweisen Rekonstruktion eines Hologrammes, also entweder vollständig oder überhaupt nicht beleuchtet, erlauben Variationen des projizierten Lichts, die Amplitude der Wellenfront lokal zu modifizieren. Praktisch bedeutet das, dass in dem Schritt 1.b) des ersten obigen Algorithmus, bei dem der Hologramminhalt H in den Z-Puffer und den Bildpuffer geschrieben wird, Schattierungs- und Beschattungstechniken eingesetzt werden, anstatt den Hologramminhalt H nur mit einheitlicher Intensität zu rendern. Dazu müssen zunächst die physikalischen Schattierungseffekte, die durch die realen Lichtquellen bei der Aufnahme des Hologramms entstanden sind, neutralisiert werden. Dann können beispielsweise die Effekte von künstlichen Lichtquellen hinzugefügt werden.

Diese Manipulation kann ebenfalls mit herkömmlicher Grafikhardware durchgeführt werden, indem zwei Bilder des Hologramminhalts H aus der Perspektive des Projektors P gerendert werden, wobei für den gesamten Inhalt H in beiden Bildern diffuses, weißes Material verwendet wird. Figur 5 zeigt eine schematische Darstellung dazu. Für das erste Bild i_1 werden virtuelle Lichtquellen L definiert, die näherungsweise gleiche Schattierungseffekte erzeugen wie die realen Lichtquellen während der Hologrammaufnahme. Für das zweite Bild i_2 werden virtuelle Lichtquellen N definiert, die die neue, künstliche Beleuchtungssituation darstellen. In beiden Bildern können bekannte, hardwarebeschleunigte Beschattungstechniken zur Erzeugung von künstlichen Schatten auf den Hologramminhalt H durch den Grafikinhalt G und auch den Hologramminhalt H selbst, die durch die künstlichen Lichtquellen entstehen, benutzt werden. Ein drittes Bild i_3 wird erzeugt, indem

die Hologrammemulsion 2 aus der Perspektive des Projektors P aus diffusem, weißem Material mit einer Punktlichtquelle am Ort des Projektors P gerendert wird. Dieses Intensitätsbild i_3 stellt die geometrische Beziehung zwischen dem Videoprojektor P als physikalischer Punktlichtquelle und der holographischen Emulsion 2 dar. Es enthält Formfaktoren wie die Abschwächung der Intensität mit dem Abstandsquadrat und die Winkelabhängigkeit der Intensität des auf das Hologramm 2 projizierten Lichtes.

Das endgültige Beleuchtungsbild I wird über die Beziehung $I=i_2/i_1/i_3$ beispielsweise in Echtzeit mit Pixelshadern errechnet. Dies neutralisiert die physikalischen Schattierungen der Hologrammaufnahme bestmöglich und erzeugt die neuen Schattierungen und Schatten. Dabei wird wiederum der graphische Inhalt R mittels des Stencilpuffers herausgeschnitten.

Schattenwürfe auf den Grafikinhalt G durch den Hologramminhalt H können wiederum durch bekannte Schattierungs- und Beschattungstechniken während des Renderns des Grafikinhaltes G in den Bildpuffer im letzten Schritt des oben beschriebenen Algorithmus erzeugt werden.

Um die Berechnungen so realistisch wie möglich zu gestalten, wird vorteilhafterweise eine Erkennungseinrichtung für die Position des Betrachters V eingesetzt, beispielsweise ein Headfinder, sodass die Augenposition des Betrachters V mit definiertem Fehler bekannt ist.

In Figur 6 wird die Wirkung des Verfahrens anhand einfacher, geometrischer Körper verdeutlicht, die in Teilbild a) nebeneinander positioniert sind. Der Quader mit einer Aussparung repräsentiert das holographische Bild des Hologramminhaltes H, der bei der Aufnahme von rechts unten beleuchtet wurde. Der Zylinder mit dem pyramidenartigen Aufsatz repräsentiert die aus dem virtuellen Grafikinhalt G gerenderte Computergrafik R, die in a) in gleichmäßiger Helligkeit gerendert ist. In Teilbild b) wurde die virtuelle

Position und Lage des Grafikinhalts G so verändert, dass er der Zylinder in der Aussparung des Quaders erscheint. Durch den erfindungsgemäßen Algorithmus stellt die Anzeige 5 nur die Teile des Grafikinhaltes G als Computergrafik R dar, die bei einer realen Anordnung vor, neben oder durch den Hologramminhalt sichtbar wären. Gleichzeitig wird das Hologramm 2 so beleuchtet, dass diejenigen Teile, die bei einer realen Anordnung hinter dem Grafikinhalt G lägen, dunkel sind, so dass nur die Computergrafik R dort sichtbar ist. Zwei völlig unterschiedliche Bilder werden so realistisch vereinigt. In den Teilbildern c) und d) wird der Algorithmus zur Beleuchtungsveränderung verdeutlicht. Die ursprüngliche Beleuchtung des Hologramminhaltes H wurde neutralisiert und durch eine virtuelle, neue Beleuchtung von links oben in Teilbild c) und von rechts oben in Teilbild d) ersetzt.

Für die Erfindung gibt es viele Anwendungsmöglichkeiten. Beispielsweise nutzen Archäologen bereits optische Hologramme, um altertümliche Kunstgegenstände zu archivieren und zu untersuchen. Die Verteilung von Hologrammkopien ermöglicht es den Wissenschaftlern, ihre Forschungen durchzuführen, ohne auf die Originale der Artefakte oder ungenaue Nachbildungen zurückgreifen zu müssen. Die erfindungsgemäße Kombination dieser Hologramme mit interaktiver Computergrafik erlaubt es ihnen, Echtzeit-Simulationsdaten zu integrieren beziehungsweise Experimente durchzuführen, die eine direkte Wechselwirkung mit dem Nutzer erfordern, wie die Rekonstruktion des Weichteilgewebes im Hologramm eines fossilen Dinosaurierschädels. Darüberhinaus können spezielle Interaktionsgeräte eine auf dem Tastsinn beruhende Rückkopplung auf den holografischen und computergrafischen Bildgehalt bei der Ausführung der interaktiven Aufgaben simulieren, indem sie beispielsweise die Positionen und/oder Bewegungen von Fingern und/oder anderen Gliedmaßen beobachten, auswerten und korrespondierende Aktionen auslösen.

In Figur 7 a) ist schematisch das holographische Bild eines menschlichen Schädels gezeigt. In Teilbild b) wurde der Schädel mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens realistisch mit Kaumuskeln versehen. Im Bereich des Jochbeins ist der an sich durchgängige Muskel-Grafikinhalt G nicht gerendert, da das Jochbein als Bestandteil des Hologramminhaltes H während des Algorithmus aufgrund seiner Tiefeninformation als vor dem Grafikinhalt G liegend erkannt wird.

Eine gesamte Kollektion von Kunstgegenständen kann in ein einziges Album von holographischen Aufnahmen gebracht werden und ein Anzeigegerät ähnlich einem Lichtkasten kann für die Visualisierung und die Interaktion verwandt werden.

Optische Hologramme in Museen können mit Multimedia-Animationen bereichert werden. Das eröffnet die Möglichkeit, Informationen über die Ausstellungsstücke in viel attraktiverer und wirkungsvollere Weise als mit einfacher Textbeschilderung zu präsentieren. Solche Anzeigegeräte können mit dem Nutzer in Interaktion treten. Die an der Wand befestigten Varianten erfordern sehr wenig Platz, wodurch die Museen eine größere Anzahl von Ausstellungsstücken präsentieren können. Selbstverständlich können Hologramme oder andere Nachbildungen die Originale der Exponate nicht ersetzen, denn letztlich sind diese Originale der Hauptgrund für die Museumsbesuche. Wenn aber ein einmaliges Exponat nicht verfügbar oder zu zerbrechlich ist um ausgestellt zu werden, bieten Hologramme immer noch die Möglichkeit, sein dreidimensionales Bild in voller Qualität zu präsentieren und in Kombination mit Computergrafik ein interaktives Erlebnis zu schaffen.

Wird das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzt, können verschiedene Anzeigenvarianten entwickelt werden. Beispielsweise können durch lediglich eine Änderung des Spiegels bei Transmissionshologrammen beliebig gestaltete Formen, beispielsweise Zylinder bei Multiplex-Hologrammen, anstatt

5 einfacher, ebener Platten 1, 2, 4 und/oder 5 unterstützt werden. Sogar ohne eine grafische Bereicherung bietet alleine die Beleuchtung mit einem Projektor P viele Möglichkeiten. In Verbindung mit optischen Hologrammen, auch mit digitalen oder Elektrohologrammen, können damit visuelle Effekte erzeugt werden. Bestimmte Teile eines Hologrammes können beispielsweise zeitweilig oder dauerhaft unsichtbar gemacht werden, während andere zeitweise oder dauerhaft hervorgehoben werden. In einem weiteren Beispiel können aus mehreren Lagen bestehende, durchscheinende Hologramme teilweise mit einzelnen Lichtprojektionen aktiviert werden durch die Rekonstruktion unter verschiedenen Winkeln. Dadurch werden einfache Animationseffekte ähnlich denen der Multiplex-Hologramme unterstützt, ohne dass es erforderlich ist, dass sich der Betrachter bezüglich des Hologramms bewegt oder das Hologramm sich bewegt.

15 Für nichtplanare Aufbauten beziehungsweise Hologramme können die beschriebenen Techniken ebenfalls eingesetzt werden. Dazu müssen lediglich die Projektionstechniken der Renderingverfahren leicht abgeändert werden. Anstelle einer Projektion der Textur auf eine Ebene, nämlich die Holographieplatte, wie sie in den Algorithmen verwendet wird, muss man auf eine entsprechende, beliebige Geometrie projizieren. Rendering-technisch geschieht dies, indem eine beliebige Geometrie mit der generierten Textur als projektiver Textur überzogen wird. Dieses projektive Texture-Mapping wird von jeder 3D-Grafikkarte hardwaremäßig unterstützt, es werden automatisch die korrekten Texturkoordinaten berechnet.

25 Durch die Kombination mehrerer Anzeigeräte 5 und/oder mehrerer Hologramme 2 können mit kostengünstigen, kleinen Bestandteilen große Dimensionen erreicht werden.

BEZUGSZEICHENLISTE

5

- 1 Schutzscheibe
- 2 Hologramm / Holographische Emulsion
- 3 Spiegelstrahlteiler
- 4 Linsenrasterscheibe
- 5 LCD-Bildschirm
- 6 Licht des LCD-Bildschirms
- 7 Einfallendes Licht des Videoprojektors
- 8 Reflektiertes Licht des Videoprojektors

10

- P Videoprojektor
- V Betrachter
- H Virtueller Hologramminhalt
- G Virtueller Grafikinhalt
- R Gerenderter Computergrafik

15

20

PATENTANSPRÜCHE

5 1. Verfahren zur Kombination eines optischen Hologrammes (2), das einen
virtuellen Inhalt (H) enthält, mit Computergrafik (G) unter Verwendung eines
teildurchlässigen, optischen Elementes (3), eines Hologramms (2), eines
10 Monitors (5) auf der von einem Betrachter (V) abgewandten Seite des
teildurchlässigen Elementes (3) und eines Videoprojektors (P), wobei das
holographische Bild des Hologrammes (2) mit dem Bild des Monitors (5)
überlagert erscheint, dadurch gekennzeichnet, dass das Hologramm (2) durch
ein von dem Videoprojektor (P) projiziertes Beleuchtungsbild (I) beleuchtet
15 wird und daraus eine für den Betrachter (V) sichtbare, holographische
Wellenfront rekonstruiert wird und gleichzeitig auf dem Monitor (5) eine aus
der Computergrafik (G) gerenderte Computergrafik (R) angezeigt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem Licht
(7) des Videoprojektors (P) mittels des von ihm projizierten Bildes (I) die
20 Amplitude der holographischen Wellenfront stellenweise modifiziert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass Teile des
holographischen Bildes hervorgehoben werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass mit
25 dem Licht (7) des Videoprojektors (P) mittels des von ihm projizierten Bildes
(I) die holographische Wellenfront nur partiell rekonstruiert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die
Computergrafik (G) in Bereichen des Hologramminhaltes (H) angeordnet wird,
30 die nicht rekonstruiert oder nur teilweise rekonstruiert werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Berechnung des Beleuchtungsbildes (I) und der Computergrafik (R) ein Z-Puffer, ein Stencilpuffer und ein Bildpuffer eingesetzt werden und

- eine Textur (T) aus der Perspektive des Betrachters (V) in achsferner Projektion erstellt wird, indem

- a) alle Puffer mit Schwarz geleert werden
- b) der Hologramminhalt (H) in Z-Puffer und Bildpuffer geschrieben wird
- c) der Grafikinhalt (G) durch einen Z-Puffer-Test bedingt in Z-Puffer und Stencilpuffer geschrieben werden
- d) die Stencils im Bildpuffer mit Schwarz geleert werden

- das Beleuchtungsbild (I) aus der Perspektive des Videoprojektors (P) erstellt wird, indem

- a) alle Puffer mit Schwarz geleert werden
- b) die Abbildung des Hologramms (2) mit der Textur (T) versehen in den Bildpuffer geschrieben wird

- die Computergrafik (R) aus der Perspektive des Betrachters (V) in achsferner Projektion erstellt wird, indem

- a) alle Puffer mit Schwarz geleert werden
- b) der Hologramminhalt (H) in den Z-Puffer geschrieben wird
- c) der Grafikinhalt (G) durch einen Z-Puffer-Test bedingt in Z-Puffer und Bildpuffer geschrieben wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Berechnung des Beleuchtungsbildes (I) und der Computergrafik ein Z-Puffer, ein Stencilpuffer und ein Bildpuffer eingesetzt werden und

- eine Textur (T) aus der Perspektive des Betrachters (V) in achsferner Projektion erstellt wird, indem

- a) Z-Puffer und Stencilpuffer mit Schwarz geleert werden und der Bildpuffer mit vorgegebenen Farbwerten gefüllt wird

b) der Hologramminhalt (H) in den Z-Puffer geschrieben wird

c) der Grafikinhalt (G) durch einen Z-Puffer-Test bedingt in Z-Puffer und Stencilpuffer geschrieben werden

d) die Stencils im Bildpuffer mit Schwarz geleert werden

- das Beleuchtungsbild (I) aus der Perspektive des Videoprojektors (P) erstellt wird, indem

a) alle Puffer geleert werden

b) die Abbildung eines weißen Rechtecks mit der Textur (T) versehen in den Bildpuffer geschrieben wird

- die Computergrafik (R) aus der Perspektive des Betrachters (V) in achsferner Projektion erstellt wird, indem

a) alle Puffer mit Schwarz geleert werden

b) der Hologramminhalt (H) in den Z-Puffer geschrieben wird

c) der Grafikinhalt (G) durch einen Z-Puffer-Test bedingt in Z-Puffer und Bildpuffer geschrieben wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Modifikation der Amplitude der Wellenfront mittels des Beleuchtungsbildes (I) des Videoprojektors (P) die Beleuchtungsverhältnisse des holographischen Bildes geändert werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass zunächst die ursprünglichen Beleuchtungsverhältnisse rechnerisch neutralisiert werden und dann mit neuen Beleuchtungsverhältnissen ein neues Beleuchtungsbild (I) errechnet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das neue Beleuchtungsbild (I) errechnet wird, indem

- zwei Projektionen (i_1 , i_2) des Hologramminhaltes (H) aus der Perspektive des Videoprojektors (P) errechnet werden, wobei für den Hologramminhalt (H) diffuses, weißes Material verwendet wird und Schattierungs- und/oder Schattenberechnungen durchgeführt werden
 - a) die erste Projektion (i_1) mit virtuellen Lichtquellen (L) erstellt wird, die etwa dieselben Schattierungen auf dem Hologramminhalt (H) bewirken wie die ursprünglichen Lichtquellen bei der Aufnahme des Hogramms (2)
 - b) die zweite Projektion (i_2) mit virtuellen Lichtquellen (N) erstellt wird, die die gewünschten, neuen Beleuchtungsverhältnisse erzeugen
- eine dritte Projektion (i_3) des Hogramms (2) aus der Perspektive des Videoprojektors (P) errechnet werden, wobei für das Hologramm diffuses, weißes Material verwendet wird und am Ort des Projektors eine Punktlichtquelle berücksichtigt wird.
- der Quotient aus dem Quotienten der zweiten (i_2) und der ersten (i_1) Projektion und der dritten Projektion (i_3) errechnet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 8, 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Computergrafik (G) hinsichtlich der Lichteffekte mit den geänderten Beleuchtungsverhältnissen der Wellenfront übereinstimmend gerendert wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch eine Erkennungseinrichtung die Kopf- und/oder Augenposition des Betrachters (V) gemessen wird und in die Berechnungen der Computergrafik (R) und/oder des Beleuchtungsbildes (I) des Videoprojektors (P) einbezogen wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Hologramm (2) durch eine optisch durchlässige Schicht (1) geschützt und/oder stabilisiert wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Computergrafik (R) stereoskopisch, autostereoskopisch oder monoskopisch erzeugt wird.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Computergrafik (R) stereoskopisch erzeugt wird und dem Benutzer (V) durch eine zwischen ihm und dem Monitor (5) angeordnete Linsenrasterscheibe (4) dreidimensional erscheint.

16. Anordnung zur Kombination eines optischen Hologrammes (2), das einen virtuellen Inhalt (H) enthält, mit Computergrafik (G), bestehend aus einem teildurchlässigen, optischen Element (3), einem Hologramm (2), einem Monitor auf der von einem Betrachter (V) abgewandten Seite des teildurchlässigen Elements (3), einem Videoprojektor (P), insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Videoprojektor (P) mit einem von ihm projizierten Beleuchtungsbild (I) das Hologramm (2) beleuchtet, wobei das Hologramm (2) zwischen dem Betrachter (V) und dem Monitor (5), auf dem Computergrafik (R) anzeigbar ist, angeordnet ist.

17. Anordnung nach Anspruch 16, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem Monitor (5) und dem teildurchlässigen Element (3) eine Linsenrasterscheibe (4) angeordnet ist.

18. Anordnung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass durch eine Erkennungseinrichtung die Kopf- und/oder Augenposition eines Betrachters (V) feststellbar ist.

5

19. Anordnung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Erkennungseinrichtung ein Headfinder ist.

10

20. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass an dem Hologramm (2) eine optisch durchlässige Schicht (1) angeordnet ist.

15

21. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Hologramm (2) ein Reflexionshologramm ohne Abdunklungsschicht ist und selbst das teildurchlässige Element (3) ist.

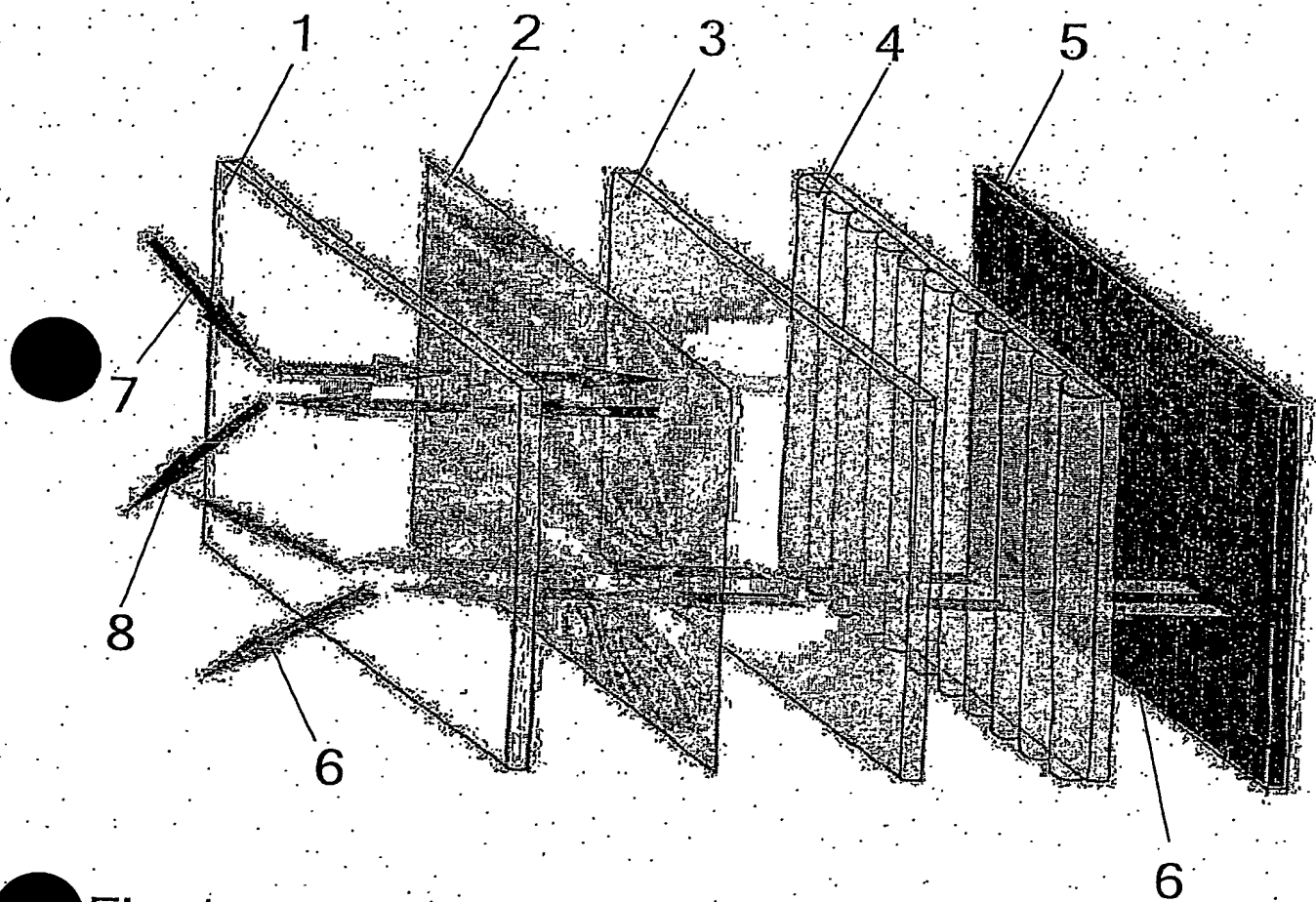


Fig. 1

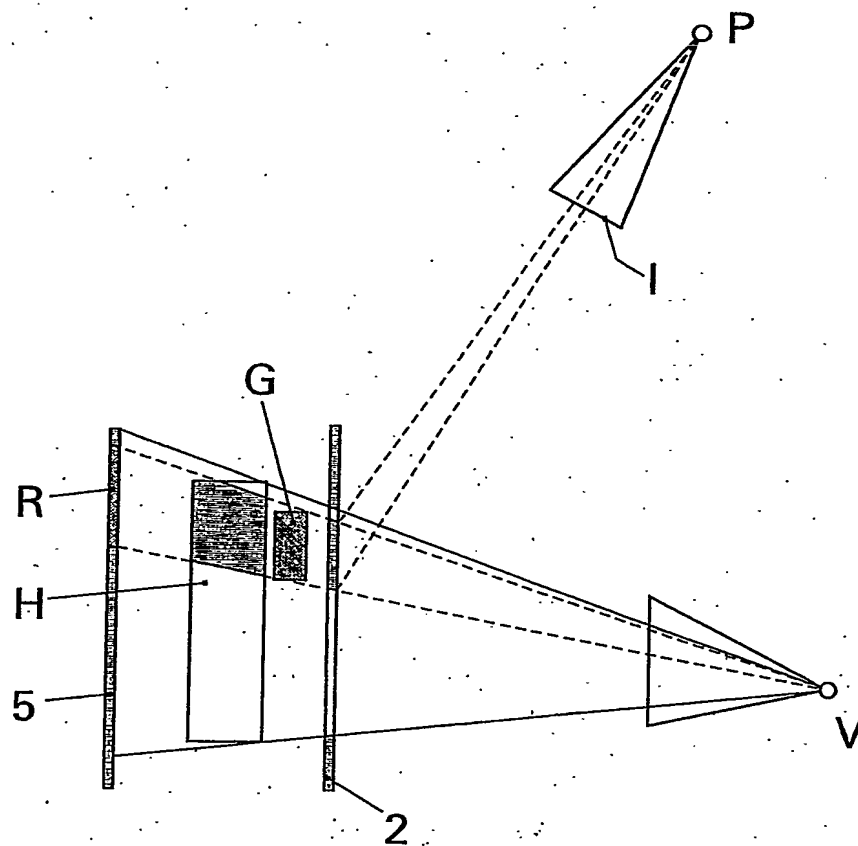


Fig. 2

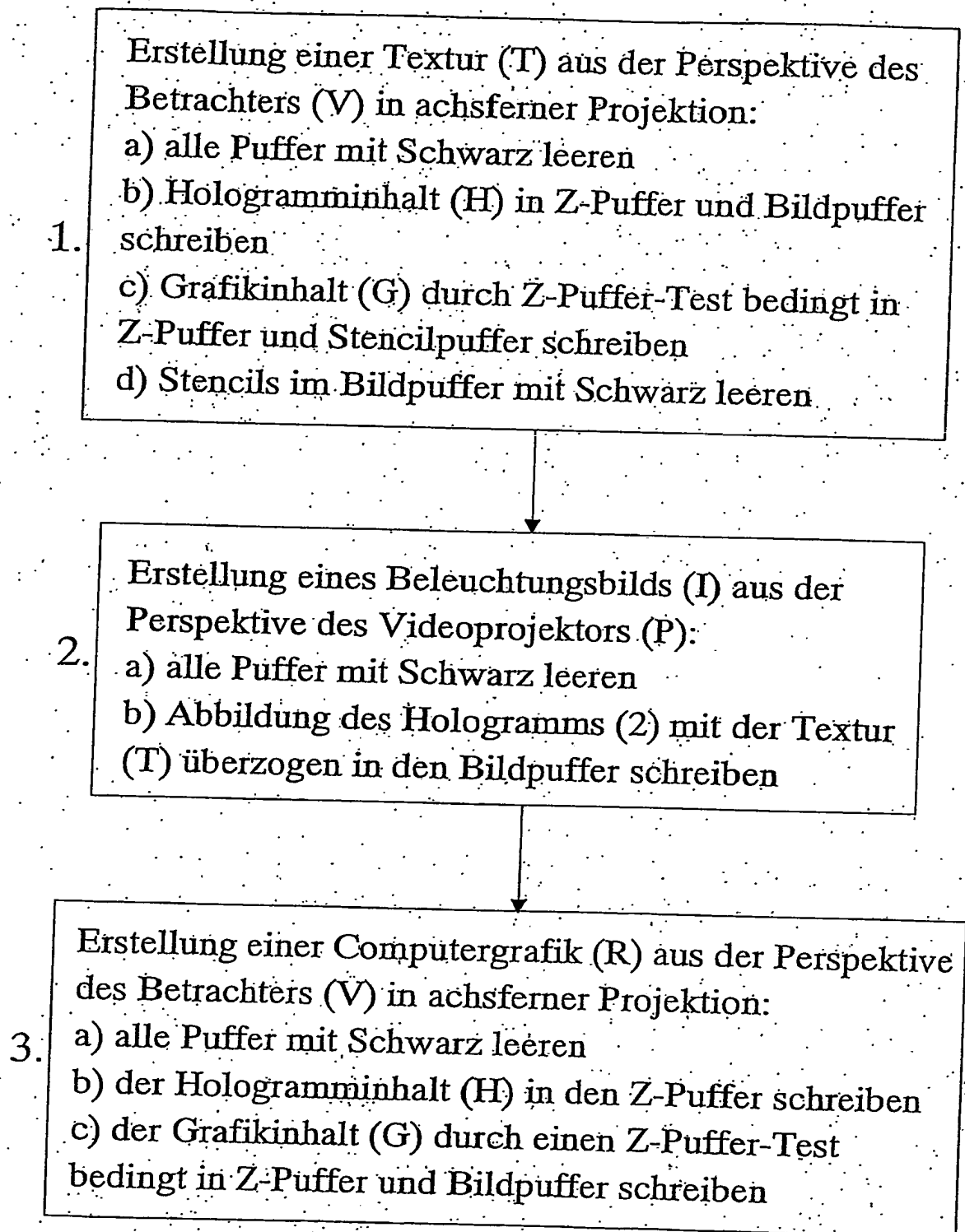


Fig. 3

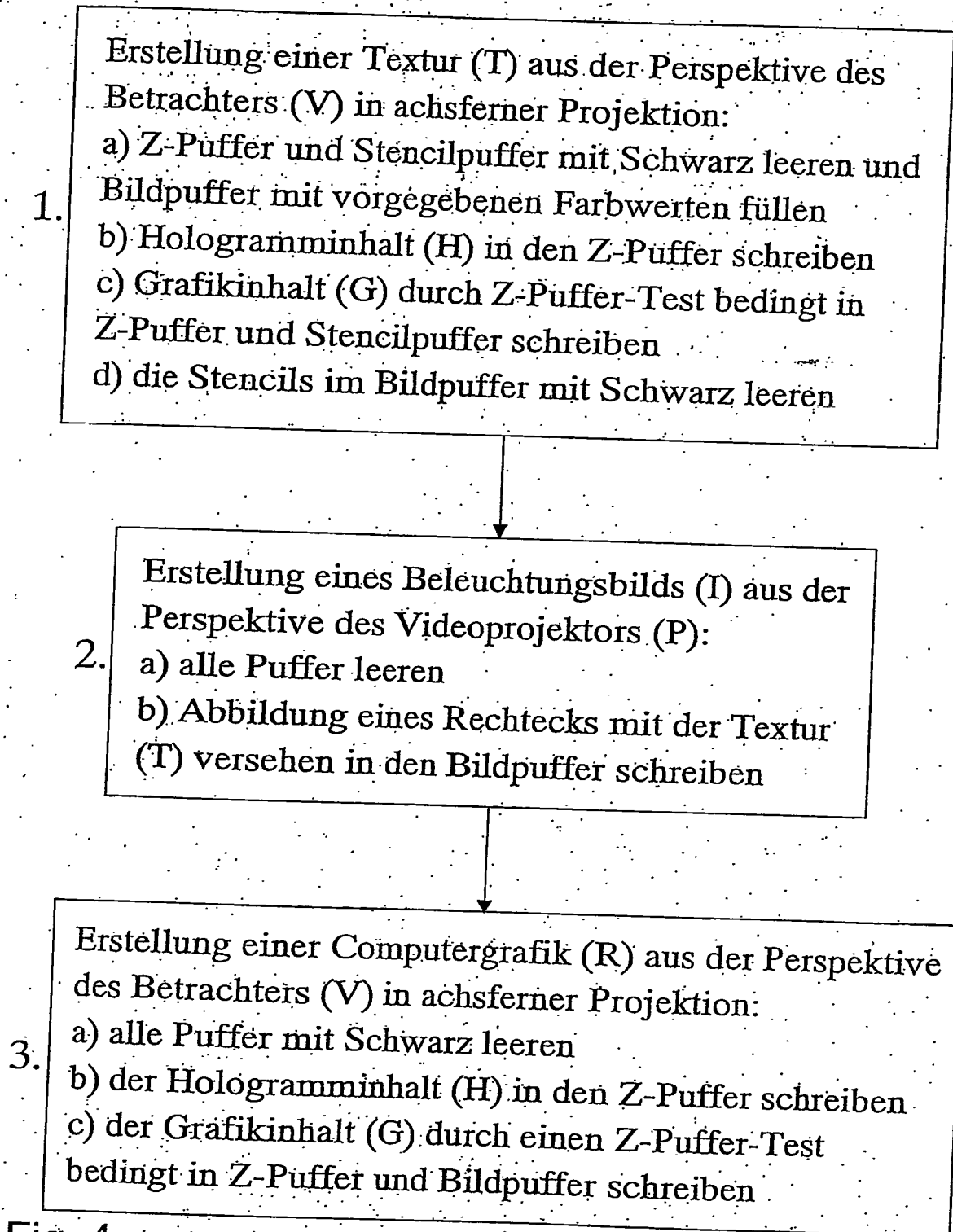


Fig. 4

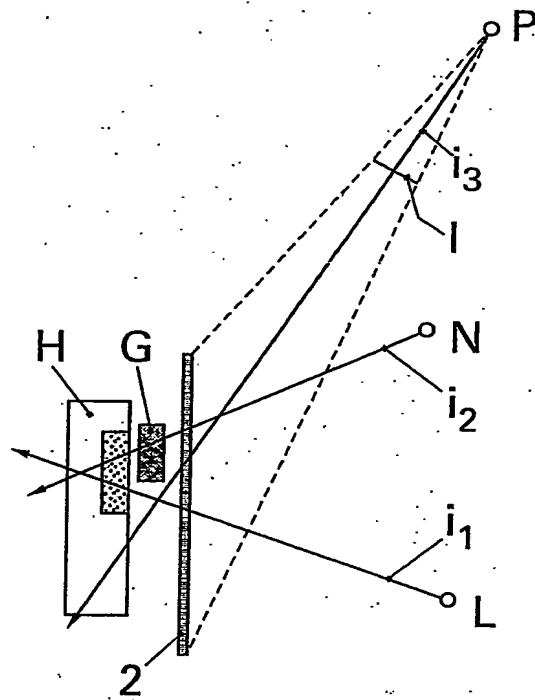


Fig. 5

6 / 7

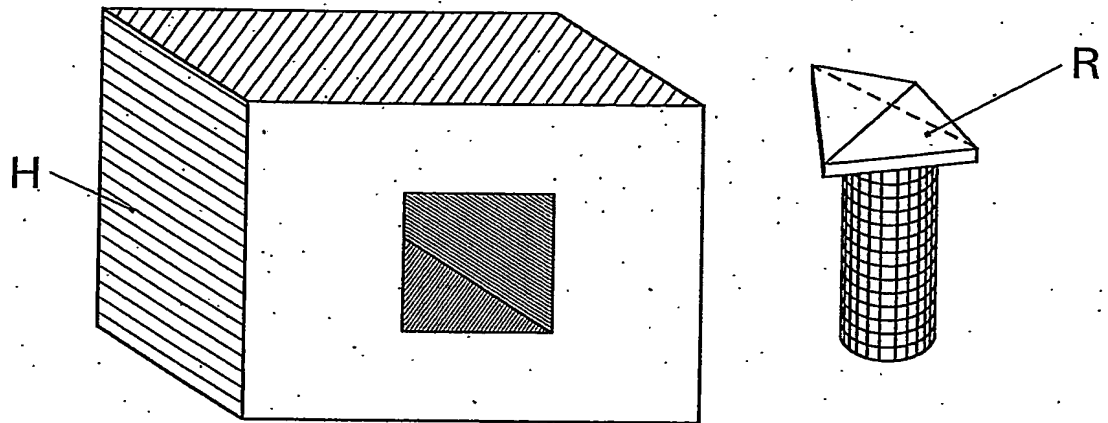


Fig. 6a

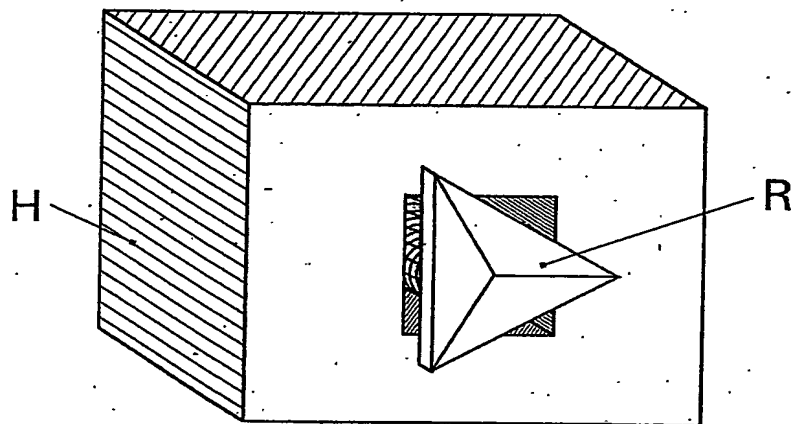


Fig. 6b

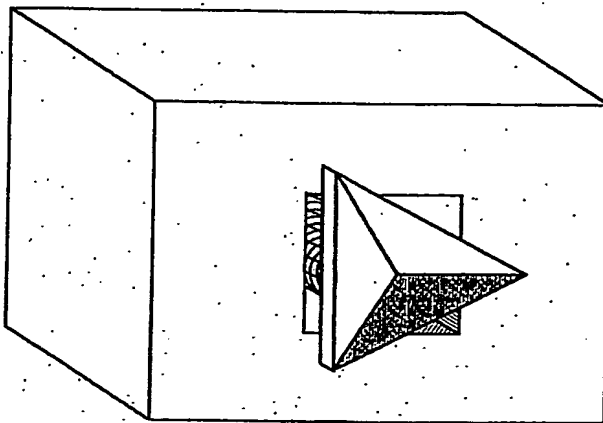


Fig. 6c

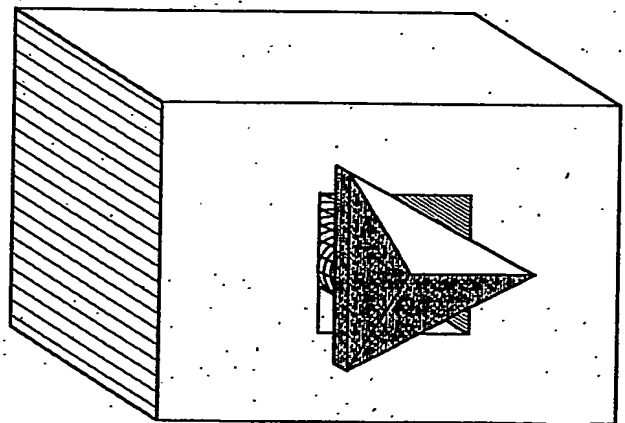


Fig. 6d

7 / 7

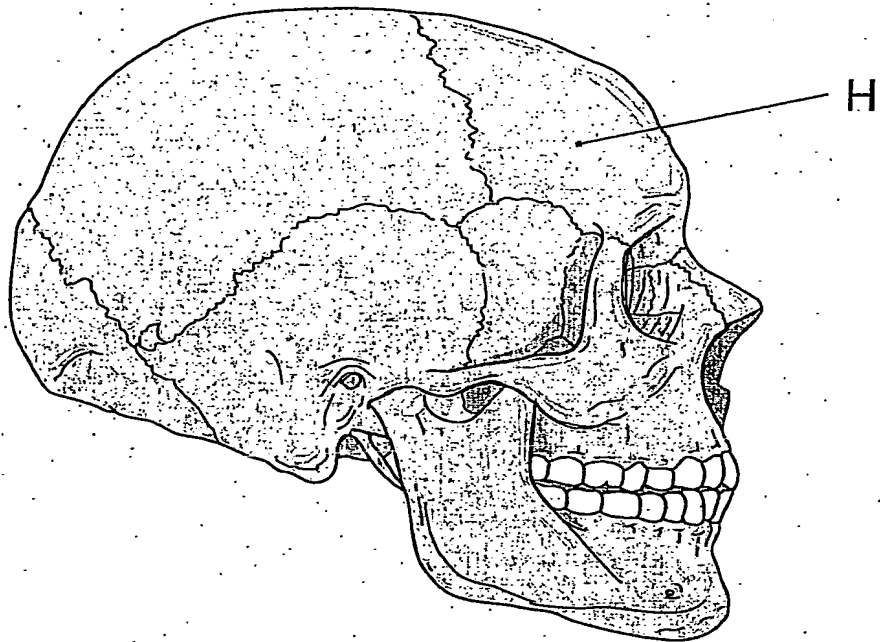


Fig. 7a

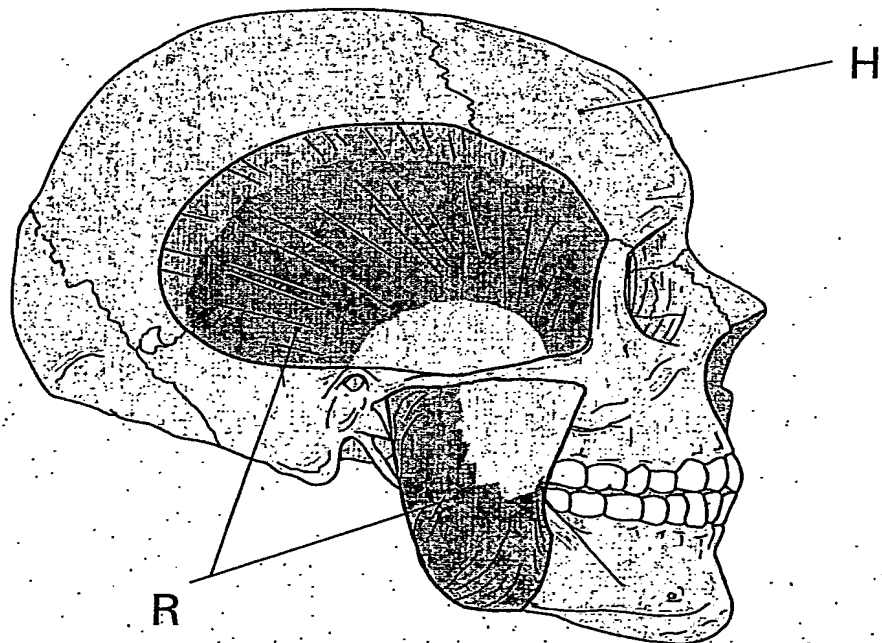


Fig. 7b

This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record.

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☒ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.